



(11) **EP 2 042 618 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**01.04.2009 Bulletin 2009/14**

(51) Int Cl.:  
**C23C 4/18 (2006.01) B23P 6/00 (2006.01)**  
**F01D 5/00 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **08164794.3**

(22) Date de dépôt: **22.09.2008**

(84) Etats contractants désignés:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR  
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT  
RO SE SI SK TR**  
Etats d'extension désignés:  
**AL BA MK RS**

(72) Inventeurs:  
• **Gueguen, Mathieu**  
**75012 Paris (FR)**  
• **Vassault, Marc Jacky**  
**91000 Evry (FR)**

(30) Priorité: **26.09.2007 FR 0757869**

(74) Mandataire: **Ilgart, Jean-Christophe et al**  
**BREVALEX**  
**3, rue du Docteur Lancereaux**  
**75008 Paris (FR)**

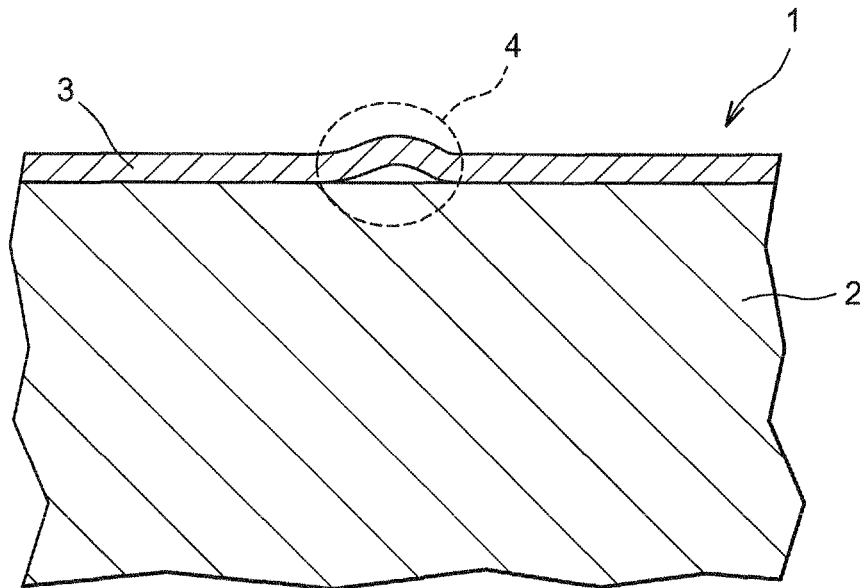
(71) Demandeur: **Snecma**  
**75015 Paris (FR)**

(54) **Procédé de récupération d'éléments de turbomachine**

(57) L'invention concerne un procédé de récupération d'un élément de turbomachine constitué par un substrat, formant le corps de l'élément, et un revêtement protecteur adhérent au substrat. Le procédé comprend :  
- le contrôle de l'élément de turbomachine pour repérer les zones présentant un défaut de liaison entre le revêtement protecteur et le substrat,  
- la suppression des défauts de liaison entre le revête-

ment protecteur et le substrat.

Les défauts de liaison sont supprimés au moyen d'un faisceau laser dirigé sur chaque zone présentant un défaut de liaison pour provoquer une fusion localisée du revêtement protecteur et du substrat sous-jacent et permettre une liaison saine, au niveau de ladite zone, entre le revêtement protecteur et le substrat après l'arrêt du faisceau laser.



**FIG. 1**

**EP 2 042 618 A1**

## Description

### DOMAINE TECHNIQUE

**[0001]** L'invention concerne un procédé de récupération d'éléments de turbomachine.

**[0002]** Par le terme « récupération », on entend la mise en conformité d'une pièce neuve qui présente, en fin de fabrication, un ou plusieurs défauts qui peuvent compromettre son utilisation normale.

### ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

**[0003]** Les éléments entrant dans la constitution d'un turbomachine doivent présenter un état de finition extrêmement soigné et ceci dans les plus petits détails.

**[0004]** Les éléments de turbomachines, en particulier les éléments de pièces ou les éléments proches des pièces tournantes, sont pourvus d'un revêtement protecteur dont la nature dépend de la fonction de ces éléments et de leur nuance. Ainsi, les aubes d'une turbomachine sont généralement pourvues d'un revêtement servant de barrière thermique et de barrière à la diffusion des métaux constituant l'aube. Ainsi également, dans le cas de rotors formés de sections soudées entre elles, les lécettes de labyrinthe des rotors sont pourvues d'un revêtement abrasif, ces lécettes étant disposées en regard d'un matériau abradable solidaire des aubes fixes.

**[0005]** Le revêtement protecteur est généralement obtenu par un dépôt plasma ou un dépôt laser. Une aube dont la partie principale (ou substrat) est en un métal de base nickel, cobalt, fer ou titane peut posséder un revêtement par exemple en alumine, en zircone, en oxyde d'yttrium, en carbure de titane, en carbure de tungstène, etc. L'épaisseur de ce revêtement est par exemple compris entre 0,05 mm et 0,5 mm.

**[0006]** Suite à l'opération de revêtement, on constate parfois un manque de liaison ou une décohésion du revêtement sur le substrat de l'élément. Les pièces défectueuses peuvent être récupérées grâce à un traitement de surface, à savoir une dissolution chimique (au moyen d'un acide), permettant d'éliminer le revêtement défectueux. Une fois cette opération réalisée, un nouveau dépôt est effectué. Ce nouveau dépôt doit être à son tour vérifié. En plus de l'allongement des cycles de fabrication, ce procédé de récupération de l'art connu présente des inconvénients en termes de santé, de sécurité et d'environnement.

**[0007]** Par ailleurs, l'utilisation d'un faisceau laser pour traiter localement des pièces métalliques a fait l'objet de publications.

**[0008]** Le brevet US 4 960 611 divulgue un procédé permettant de remédier à de petits défauts dans un revêtement de pièces mécaniques, ces défauts étant notamment dus à des particules de poussières ou à des gouttelettes d'huile. Ce procédé a été en particulier conçu pour des carcasses de moteurs de véhicules, ces carcasses étant revêtues de plusieurs couches de

protection : une couche d'accrochage, une couche intermédiaire et une couche de finition. Pour remédier à un défaut touchant la couche de finition (particule de poussière, gouttelette d'huile), il est proposé d'irradier la zone défectueuse de la couche de finition par un faisceau laser pour sublimer la particule de poussière ou la gouttelette d'huile et la zone adjacente de la couche de finition pour former une minuscule cavité dans la couche de finition. La cavité est ensuite remplie par une composition réparatrice qui est durcie par exemple au moyen d'un faisceau laser.

**[0009]** Le document EP-A-0 504 095 divulgue un procédé de réparation d'éléments d'une turbine à gaz et notamment un procédé de réparation d'aubes détériorées en service. En service, les aubes subissent des phénomènes d'oxydation, de fissures et d'érosion de métal, ces phénomènes étant dus à des abrasifs et des corrosifs contenus dans le flux gazeux frappant les aubes. La haute pression du flux gazeux circulant à haute température provoque alors une déformation des aubes. Ce document propose un procédé de réparation des aubes en dirigeant un faisceau laser sur une zone de la surface de l'aube à réparer. Le faisceau laser fond localement une fine couche superficielle de l'aube que l'on laisse ensuite se solidifier. La solidification provoque des forces de traction dans le matériau sous-jacent à la couche traitée, donnant une configuration concave à cette partie de l'aube. En appliquant le faisceau laser selon un trajet déterminé, il est possible de reconfigurer l'aube.

**[0010]** Le document DE-A-33 25 251 décrit un procédé de récupération d'un élément de turbomachine comprenant un substrat recouvert d'une couche de céramique adhérent au substrat par une couche adhésive. Le procédé comprend le contrôle de la pièce pour repérer les zones présentant un défaut de liaison de la couche de céramique. Les défauts sont repérés par balayage de l'élément de turbomachine au moyen d'un faisceau énergétique, de préférence un faisceau d'électrons. Le faisceau énergétique provoque un écaillage de la couche de céramique dans chaque zone de défaut. La suppression des défauts se fait par rectification des zones écaillées et ajout de matériau céramique.

**[0011]** Le brevet US 5 576 069 divulgue un procédé de refusion par laser d'une couche de zircone projetée par plasma sur un élément métallique recouvert d'une couche de liaison. Pour traiter des défauts de la couche de zircone, cette couche est refondue superficiellement. Une suspension de céramique est ensuite appliquée. Puis la couche de céramique est à nouveau superficiellement refondue. Dans ce procédé, il n'y a pas de refusion du substrat, ni de la couche de liaison.

### EXPOSÉ DE L'INVENTION

**[0012]** La présente invention a été conçue pour remédier aux inconvénients du procédé de récupération d'éléments de turbomachine actuellement utilisé.

**[0013]** L'invention a pour objet un procédé de récupé-

ration d'un élément de turbomachine constitué par un substrat, formant le corps de l'élément, et un revêtement protecteur adhérent au substrat, le procédé comprenant :

- le contrôle de l'élément de turbomachine pour repérer les zones présentant un défaut de liaison entre le revêtement protecteur et le substrat,
- la suppression des défauts de liaison entre le revêtement protecteur et le substrat,

caractérisé en ce que les défauts de liaison sont supprimés au moyen d'un faisceau laser dirigé sur chaque zone présentant un défaut de liaison et réalisant une fusion localisée du revêtement protecteur et du substrat sous-jacent pour permettre une liaison saine après refroidissement de chaque zone, au niveau de ladite zone, entre le revêtement protecteur et le substrat après l'arrêt du faisceau laser.

**[0014]** Selon un mode de mise en oeuvre particulier, les zones présentant un défaut, repérées lors du contrôle de l'élément de turbomachine, sont analysées géométriquement en trois dimensions et enregistrées afin de fournir au faisceau laser un trajet déterminé et de lui conférer les caractéristiques lui permettant de supprimer chaque défaut de liaison.

**[0015]** En particulier, le trajet du faisceau laser sur l'élément de turbomachine peut être déterminé pour être le plus rapide possible.

**[0016]** Selon un autre mode de mise en oeuvre, la fusion localisée provoquée par le faisceau laser est réalisée sous atmosphère inerte ou réductrice.

**[0017]** Avantagusement, le faisceau laser est dirigé sur les zones présentant un défaut de liaison au moyen d'une fibre optique.

**[0018]** Le faisceau laser peut être émis par un laser YAG.

**[0019]** Le procédé peut comprendre, après la suppression des défauts de liaison, un nouveau contrôle de l'élément de turbomachine pour vérifier s'il subsiste des défauts de liaison entre le revêtement protecteur et le substrat.

**[0020]** Le procédé s'applique par exemple à la récupération d'aubes ou de lésions de turbomachines.

### BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

**[0021]** L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

- la figure 1 est une vue partielle, en coupe transversale, d'un élément de turbomachine présentant une zone de défaut de liaison entre le corps de l'élément et son revêtement protecteur,
- la figure 2 représente l'élément de turbomachine

montré à la figure 1 subissant le procédé de récupération selon la présente invention,

- la figure 3 illustre l'opération de suppression des défauts de liaison entre le substrat et le revêtement protecteur d'un élément de turbomachine.

### EXPOSÉ DÉTAILLÉ D'UN MODE DE RÉALISATION PARTICULIER

**[0022]** La figure 1 est une vue partielle, en coupe transversale, d'un élément de turbomachine, par exemple une aube 1. L'aube 1 est constituée par un substrat 2, formant le corps de l'élément, et par un revêtement protecteur 3.

**[0023]** Le substrat 2 est un matériau métallique, par exemple à base de nickel, de cobalt, de fer ou de titane. Le revêtement protecteur 3 est par exemple constitué par une couche d'alumine, de zircone, d'oxyde d'yttrium, ou d'un carbure métallique (par exemple de titane ou de tungstène) obtenu par dépôt plasma ou par dépôt laser. L'épaisseur du revêtement est par exemple comprise entre 0,05 mm et 0,5 mm. Le revêtement protecteur 3 doit adhérer au substrat 2. Cependant, il peut se produire un ou plusieurs défauts (manque de liaison du revêtement, décohésion du revêtement) comme cela est montré sous la référence 4.

**[0024]** Pour remédier à de tels défauts de liaison, il est proposé, selon la présente invention, de refusionner le revêtement protecteur dans la zone du défaut pour assurer une continuité physique entre le revêtement et le substrat.

**[0025]** La fusion localisée de la couche de revêtement 3 et du substrat sous-jacent 2 est obtenue au moyen d'un faisceau laser 5 comme le montre la figure 2. Le faisceau laser est par exemple émis par un laser YAG et transmis par une fibre optique jusqu'à la zone 6 comprenant une partie du revêtement protecteur 3 et une partie du substrat 2. Les caractéristiques de ce laser YAG peuvent être les suivantes :

- diamètre de la tache focale du faisceau laser (spot) sur l'élément de turbomachine : entre 0,2 mm et 0,8 mm,
- fréquence des impulsions : de 3 à 10 Hz,
- puissance moyenne du faisceau laser : entre 50 et 100 W,
- durée des impulsions : de 5 ms à 15 ms.

**[0026]** On cherchera à avoir une densité d'énergie apportée à chaque zone à récupérer constante quelle que soit la surface de la zone.

**[0027]** Le procédé selon l'invention comporte d'abord une étape de contrôle de l'élément de turbomachine pour repérer les zones présentant un défaut de liaison telles que la zone 4 montrée à la figure 1. Avant cette opération, un nettoyage de la surface de l'élément peut être nécessaire afin d'assurer la qualité métallurgique et mécanique de liaison substrat/revêtement protecteur. La zone concernée est avantagusement exempte de toute pollution

(graisse, huile, produit ressuant, ...).

**[0028]** Le profil de chaque zone défectueuse est analysé géométriquement en trois dimensions (positionnement, géométrie, dimension, ...) pour assurer une trajectoire optimale du faisceau laser.

**[0029]** Une fois la caractérisation de l'élément de turbomachine effectuée, la remise en conformité de l'élément est réalisée. Le procédé est mis en oeuvre sans apport de métal. La vitesse d'exécution est pilotée en manuel ou en automatique. La dimension de la tache focale du faisceau laser est adaptée en fonction de la géométrie de la zone de travail. L'énergie moyenne apportée par le faisceau laser est faible (inférieure à 100 W) afin de limiter les déformations et, par exemple dans le cas d'une aube, d'éviter l'effondrement des sommets des aubes.

**[0030]** La figure 3 illustre l'opération de suppression des défauts de liaison entre le substrat et le revêtement protecteur d'une aube 10 de turbomachine. La référence 11 représente une source laser, par exemple une source laser YAG. Le faisceau laser émis par la source laser 11 est véhiculé par une fibre optique 12 jusqu'à une tête laser 13. La tête laser 13 dirige le faisceau laser 14 vers les zones à récupérer. Durant l'opération, un système de protection gazeuse 15 protège l'aube de la corrosion et de l'oxydation. La protection gazeuse peut être réalisée par soufflage d'un gaz inerte (par exemple l'argon) ou réducteur.

## Revendications

1. Procédé de récupération d'un élément de turbomachine (1, 10) constitué par un substrat (2), formant le corps de l'élément, et un revêtement protecteur (3) adhérent au substrat, le procédé comprenant :

- le contrôle de l'élément de turbomachine pour repérer les zones présentant un défaut de liaison entre le revêtement protecteur (3) et le substrat (2),
- la suppression des défauts de liaison entre le revêtement protecteur et le substrat,

**caractérisé en ce que** les défauts de liaison sont supprimés au moyen d'un faisceau laser (5) dirigé sur chaque zone présentant un défaut de liaison et réalisant une fusion localisée du revêtement protecteur et du substrat sous-jacent pour permettre une liaison saine après refroidissement de chaque zone, au niveau de ladite zone, entre le revêtement protecteur et le substrat après l'arrêt du faisceau laser.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les zones présentant un défaut, repérées lors du contrôle de l'élément de turbomachine, sont analysées géométriquement en trois dimensions et enregistrées afin de fournir au faisceau laser un trajet dé-

terminé et de lui conférer les caractéristiques lui permettant de supprimer chaque défaut de liaison.

3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel le trajet du faisceau laser sur l'élément de turbomachine est déterminé pour être le plus rapide possible.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la fusion localisée provoquée par le faisceau laser (14) est réalisée sous atmosphère inerte ou réductrice.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le faisceau laser (14) est dirigé sur les zones présentant un défaut de liaison au moyen d'une fibre optique (12).
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le faisceau laser (14) est émis par un laser YAG (11).
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comprenant, après la suppression des défauts de liaison, un nouveau contrôle de l'élément de turbomachine pour vérifier s'il subsiste des défauts de liaison entre le revêtement protecteur et le substrat.
8. Application du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 à la récupération d'aubes ou de lèchettes de turbomachines.

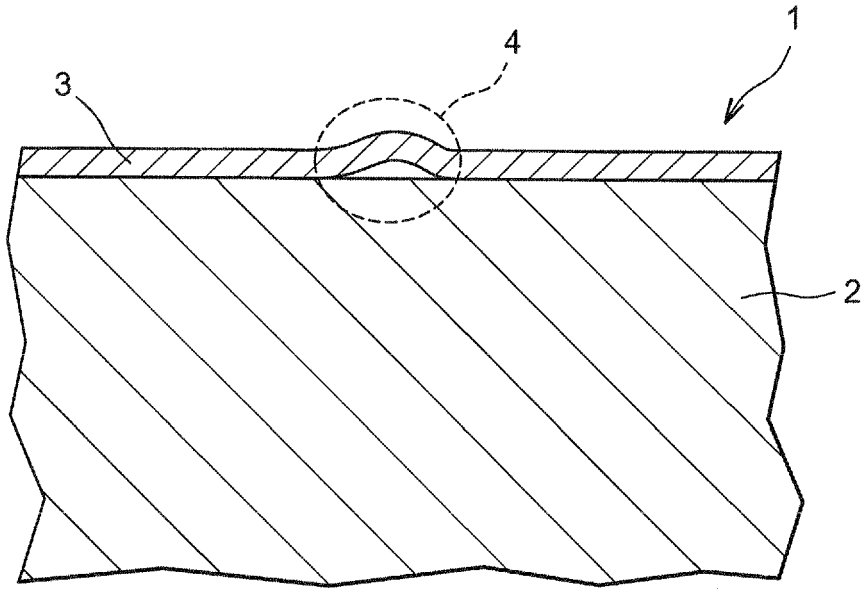


FIG. 1

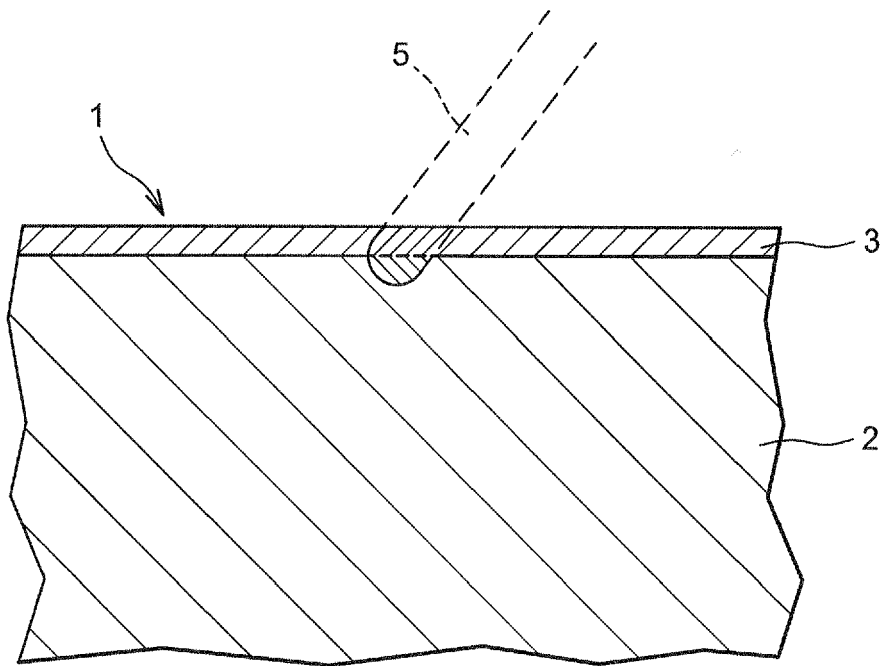


FIG. 2

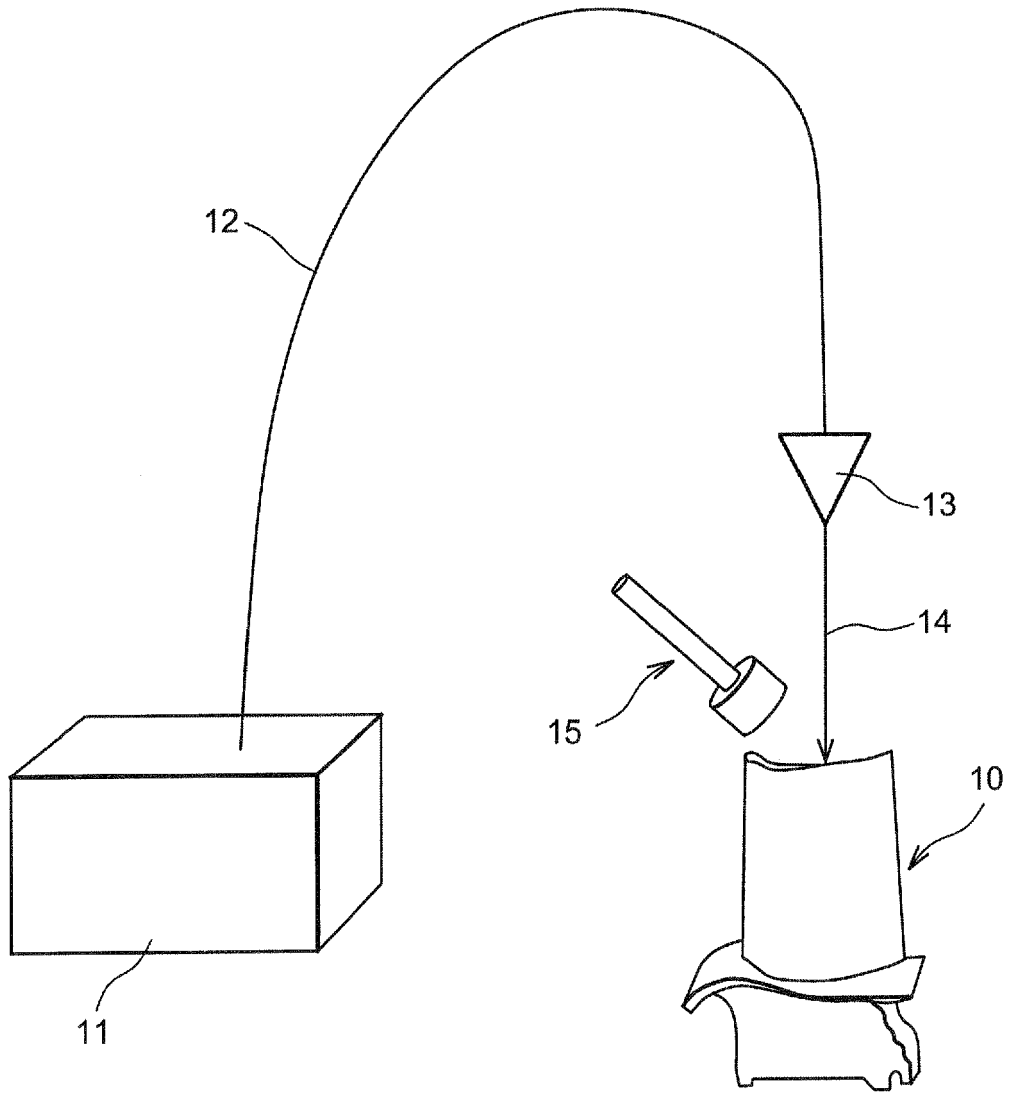


FIG. 3



## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 08 16 4794

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	JP 06 272012 A (SHIMURA HIROFUMI; UMEHARA HIROYUKI; SASAKI SHINYA; KUROSAWA KAZUYOSHI;) 27 septembre 1994 (1994-09-27)	1,4,8	INV. C23C4/18 B23P6/00 F01D5/00
Y	* abrégé; figures * -& DATABASE WPI Week 1994 Thomson Scientific, London, GB; AN 1994-347505 XP002505546 "Functional coating prodn. for sliding parts in aircraft, ship, etc. - using laser plasma hybrid spray of titanium@ (alloy) particles" * abrégé *	2,3,5-7	
X	----- SU 1 785 291 A1 (NII T I OGANIZATSII PROIZV DVI [SU]; Z N 405 MIN GRAZHDANSKOJ AVIAT [S]) 10 mai 1996 (1996-05-10) * abrégé; figures * -& DATABASE WPI Week 1997 Thomson Scientific, London, GB; AN 1997-064152 XP002505547 "Gas turbine engine compressor blades restoration - by melting edges using laser radiation of specified power density" * abrégé *	1,8	
X	----- JP 62 127457 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 9 juin 1987 (1987-06-09) * abrégé; figures * -& DATABASE WPI Thomson Scientific, London, GB; AN 1987-196571 XP002505548 "Surface treatment of coatings for valves, blades, etc. - comprises heating by laser irradiation" * abrégé *	1,8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) B23P C23C F01D G01N G06T G05B B23K B05B
----- -/--			
1 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 5 janvier 2009	Examineur Sérgio de Jesus, E
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ----- & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P/MC02)



## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 08 16 4794

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS				
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)	
Y	EP 1 496 474 A (GEN ELECTRIC [US]) 12 janvier 2005 (2005-01-12) * alinéas [0007], [0015] - [0018], [0020] - [0022], [0026], [0027], [0031] - [0037]; figures 1,2 * * le document en entier * -----	2,3		
Y	EP 0 956 378 A (UNIV TENNESSEE RES CORP [US]) 17 novembre 1999 (1999-11-17) * alinéas [0033], [0035] * * le document en entier * -----	5,6		
Y	US 2003/167616 A1 (HARDING KEVIN GEORGE [US] ET AL HARDING KEVIN GEORGE [US] ET AL) 11 septembre 2003 (2003-09-11) * alinéa [0052] * * le document en entier * -----	7		
D,A	US 4 960 611 A (FUJISAWA ATSUHISA [JP] ET AL) 2 octobre 1990 (1990-10-02) * le document en entier * -----	1-8		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
D,A	EP 0 504 095 A (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 16 septembre 1992 (1992-09-16) * le document en entier * -----	1-8		
D,A	DE 33 25 251 A1 (BBC BROWN BOVERI & CIE [DE]) 24 janvier 1985 (1985-01-24) * le document en entier * -----	1-8		
D,A	US 5 576 069 A (CHEN CHUN [TW] ET AL) 19 novembre 1996 (1996-11-19) * le document en entier * -----	1-8		
1 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications				
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur	
La Haye		5 janvier 2009	Sérgio de Jesus, E	
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant		
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire				

EPO FORM 1503 03.02 (P04C02)



**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 08 16 4794

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.  
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

05-01-2009

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 6272012	A	27-09-1994	AUCUN	
SU 1785291	A1	10-05-1996	AUCUN	
JP 62127457	A	09-06-1987	AUCUN	
EP 1496474	A	12-01-2005	CN 1576829 A	09-02-2005
			JP 2005031085 A	03-02-2005
			US 2005008213 A1	13-01-2005
EP 0956378	A	17-11-1999	AU 735712 B2	12-07-2001
			AU 2243497 A	11-08-1997
			BR 9706988 A	08-03-2000
			CA 2241316 A1	24-07-1997
			CN 1218517 A	02-06-1999
			CZ 9802153 A3	13-01-1999
			DE 69720531 D1	08-05-2003
			DE 69720531 T2	08-01-2004
			EA 1503 B1	23-04-2001
			HK 1020586 A1	04-04-2003
			IL 124985 A	31-10-2001
			JP 2001527601 T	25-12-2001
			WO 9726388 A2	24-07-1997
US 2003167616	A1	11-09-2003	AUCUN	
US 4960611	A	02-10-1990	CA 1312506 C	12-01-1993
			DE 3833225 A1	13-04-1989
			GB 2210291 A	07-06-1989
EP 0504095	A	16-09-1992	AU 1282292 A	17-09-1992
			IE 920793 A1	23-09-1992
			JP 5131281 A	28-05-1993
			US 5142778 A	01-09-1992
DE 3325251	A1	24-01-1985	AUCUN	
US 5576069	A	19-11-1996	AUCUN	

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

*Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.*

**Documents brevets cités dans la description**

- US 4960611 A [0008]
- EP 0504095 A [0009]
- DE 3325251 A [0010]
- US 5576069 A [0011]